



Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
CIRAD-TERA/Ere
Equipe Gestion des déchets organiques
Station de La Bretagne
BP 20 – 97408 Saint-Denis Messag. Cedex 9
La Réunion – France

Construction d'une typologie fonctionnelle pour caractériser la gestion des effluents d'élevage dans les exploitations de l'île de la Réunion

Jean-Marie Paillat¹, Christine Aubry²

Rapport Cirad-Tera n° 28/02

Juin 2002

¹ CIRAD/INRA UMR Sol Agronomie Spatialisation, 65 rue de St Brieuc, 35042 Rennes cedex 01

² INRA SADAPT, 78880 Thiverval-Grignon

1. Introduction - problématique

Depuis la fin des années 80, l'île de la Réunion a développé les élevages intensifs pour accroître son autonomie alimentaire et conserver des emplois agricoles dans les Hauts. Des concentrations d'effluents d'élevage ont ainsi été générées dans certaines localités provoquant des risques de pollution du fait de l'exiguïté des surfaces épandables et des nuisances fortes incompatibles avec une valorisation touristique. A la Réunion, les effluents d'élevage représentent plus des 3/4 de l'azote des déchets fermentescibles épandables (MVAD, 1997) : leur valorisation constitue un enjeu important, car l'île est soumise aux réglementations environnementales françaises et européennes.

Dans ce contexte nouveau, un des premiers objectifs de recherche était de connaître et comprendre les modes de gestion de ces effluents par les agriculteurs de manière à élaborer le cas échéant des alternatives à cette gestion. Dès 1995, un projet, initié par le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) et financé par la Commission d'orientation des recherches dans les Dom-Tom³ (Cordet) a permis de lancer les recherches sur les relations entre agriculture et environnement à la Réunion (Paillat, 1998). Différentes situations agricoles des hauts de l'île ont été caractérisées : élevage hors dominant dans le cirque de Salazie (Reynaud, 1995 ; Renault et Paillat, 1999), interaction entre élevages hors-sol et cultures maraîchères dans la localité de Dos d'Ane (Paillat et Gallo, 1996), cultures végétales diversifiées dans les Hauts de l'ouest (Vimeux, 1998), élevage laitier dominant dans les plaines d'altitude et les zones de piémont (Chollet, 1998), interactions élevage agriculture dans le Sud de l'île (Prêcheur, 1999 ; Rakotomalala, 1999). Ces enquêtes diverses et complémentaires ont permis de construire et d'affiner progressivement une typologie des systèmes de gestion des matières organiques à La Réunion.

Cette typologie a ensuite été utilisée dans le cadre d'une action de recherche pluridisciplinaire (Paillat et Guerrin, 1998), engagée en 1999, visant à trouver des modes d'adaptation de l'offre en matière organique des élevages à la demande des sols et des cultures, au sein des exploitations, comme entre exploitations. Une maîtrise de la gestion des déchets organiques, notamment ceux provenant des élevages, est en effet nécessaire pour limiter les problèmes de pollution et résoudre les déséquilibres au sein des zones agricoles ou entre ces zones. Compte tenu de la complexité des objets de recherche, cette recherche a d'emblée privilégié la modélisation comme outil de représentation et d'analyse de la gestion des effluents (Aubry *et al.*, 2001), permettant de simuler différents scénarios et d'évaluer des risques.

L'objet de ce rapport technique est de décrire précisément la typologie fonctionnelle élaborée et les scénarios de gestion qui en découlent et sur lesquelles sont réalisées les simulations du modèle informatisé *MAGMA* (Modèle d'aide à la gestion des matières organiques en agriculture) (Guerrin, 2001).

2. Méthodologie

2.1. Analyse globale des exploitations, enquêtes en régions et sur la filière lait

La première démarche, mise en œuvre pour le cirque de Salazie (Fig. 1), région enclavée de l'île concentrant beaucoup d'élevages hors-sol mais également un peu de cultures maraîchères et fruitières, a consisté à réaliser une typologie régionale basée sur l'analyse du fonctionnement global des exploitations (Caneill et Capillon, 1990). Par fonctionnement global, on entend : « l'enchaînement de prises de décisions de l'agriculteur et de sa famille dans un ensemble de contraintes et d'atouts, en vue d'atteindre des objectifs qui leur sont propres et qui gouvernent les processus de production présents sur l'exploitation » (Capillon et Manichon, 1991). Cette méthode d'approche globale de l'exploitation propose trois étapes : (i) mise en évidence des choix stratégiques et de leurs déterminants, (ii) diagnostics sectoriels permettant d'apprécier séparément différentes activités de l'exploitation, dans nos enquêtes, nous nous sommes concentrés sur la production et l'utilisation des déjections animales, et (iii) fonctionnement de l'exploitation confrontant les diagnostics sectoriels aux choix stratégiques. Cette dernière étape est réalisée avec la grille de lecture, proposée par Capillon et

³ Département et territoires d'outre-mer français

Manichon (1991), qui permet de dresser le schéma de la combinaison des productions et celui du fonctionnement de l'exploitation. La comparaison des schémas de toutes les exploitations enquêtées permet de les regrouper entre elles et de construire une typologie.

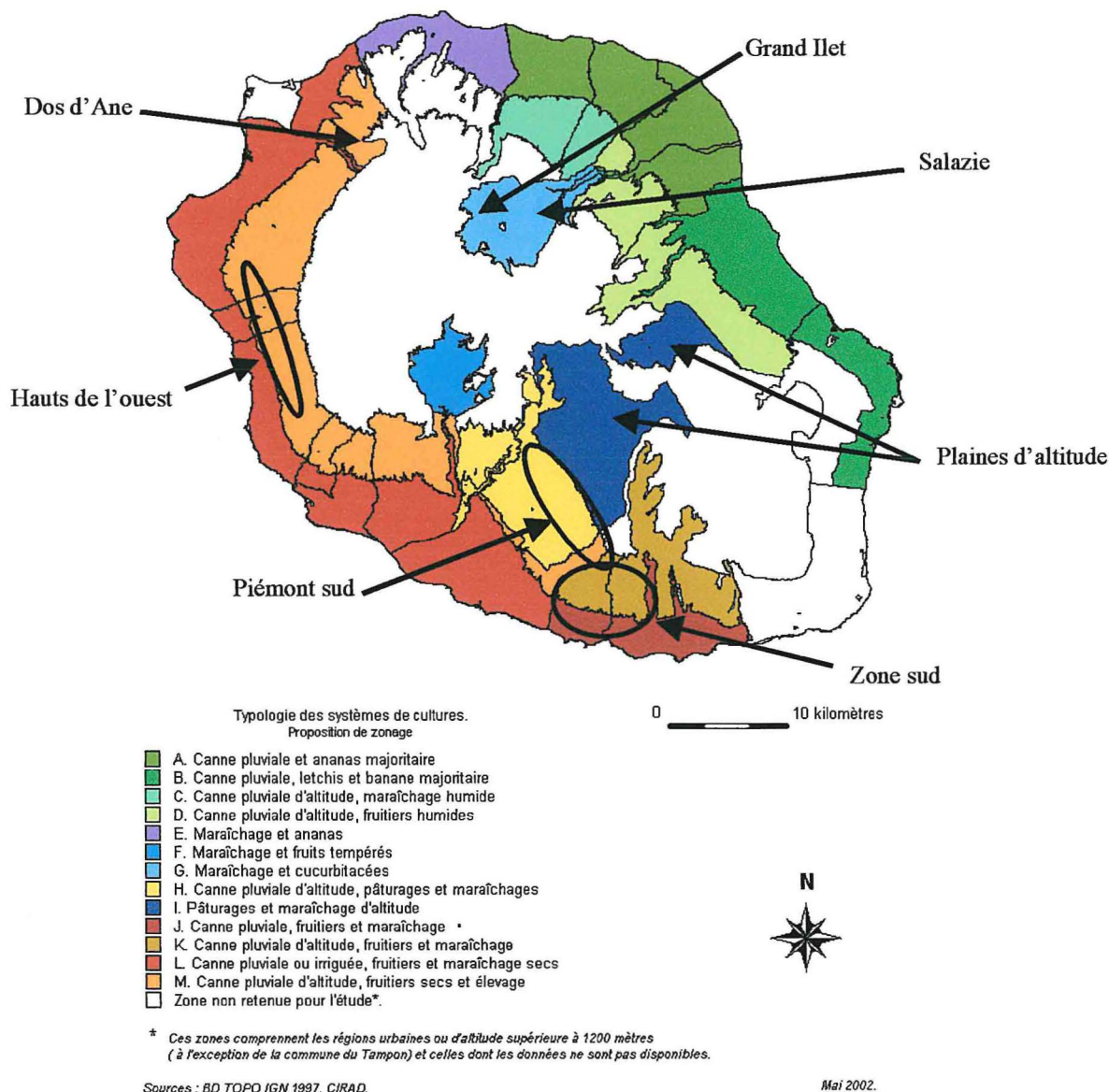


Figure 1. Localisation des enquêtes sur la carte des principales régions agricoles de l'île (d'après Saint-Macary *et al.*, 2002)

Après un échantillonnage construit pour couvrir l'ensemble des systèmes de production de la région de Salazie, une quarantaine d'exploitations ont été enquêtées (Reynaud, 1995). Compte tenu de l'objectif initial visant à qualifier les modes de gestion des effluents d'élevage, les forts producteurs d'effluents et les forts consommateurs potentiels sont davantage représentés dans l'échantillon d'enquête. Pour chacune des enquêtes, l'objectif est de repérer les éléments structurant une exploitation agricole : historique, objectif général, objectifs de production, atouts et contraintes propres à l'exploitation (moyens de production) ou externes (marché, réglementation ...) ; l'ensemble de ces

éléments est traduit par la combinaison des productions. Le fonctionnement est ensuite abordé en confrontant les stratégies de production et les résultats techniques et économiques ; il permet de diagnostiquer les problèmes et de cerner les améliorations envisagées par l'agriculteur (stratégie d'évolution). Dans ce cadre méthodologique, la gestion des effluents est abordée de façon spécifique pour classer les exploitations par rapport à l'objectif typologique que nous nous sommes donnés. Ce travail a ainsi permis d'aboutir à une typologie des exploitations de la région de Salazie, basée sur la gestion des effluents (Reynaud, 1995). Les trajectoires d'évolution entre les types ont également pu être dégagées. Cette première typologie servira de base aux différents travaux menés ultérieurement.

Une approche similaire a été réalisée sur le site de Dos d'Ane (Fig. 1). Alors que le cirque de Salazie regroupe plusieurs localités, le site de Dos d'Ane ne constitue qu'une seule localité. A cette échelle, il n'est pas possible de construire une typologie régionale. Nous avons donc classé les exploitations enquêtées dans la typologie de Reynaud (1995) en adaptant les trajectoires d'évolution à cette nouvelle situation (Paillat et Gallo, 1996).

Une troisième étude a été réalisée dans la région des plaines d'altitude à vocation fourragère principalement et les régions de piémont du sud de l'île (Fig. 1). Ces deux régions correspondent à l'aire principale de production laitière. L'entrée n'était donc pas régionale, mais de type « filière », avec l'objectif de construire une typologie propre aux systèmes laitiers, basée sur la gestion des effluents. La démarche d'approche globale de l'exploitation (Capillon et Manichon, 1991) a été appliquée dans ce contexte pour construire une typologie des systèmes fourragers (Delattre, 1996). S'appuyant sur cette typologie qui différencie les grands systèmes laitiers sur le plan de leur gestion fourragère, S. Chollet (1998) a mis en œuvre la méthode du bilan « Quimper » pour quantifier les entrées et sorties d'azote de l'exploitation (Simon *et al.*, 1997) ; une analyse interne à l'exploitation a également été envisagée à travers l'analyse de trois sous-systèmes : élevage, stockage d'effluents, prairies, et de leurs relations à travers les transferts d'azote. Cette seconde approche sectorielle réalisée dans les exploitations laitières a conduit à une typologie des risques environnementaux liés à la gestion des effluents laitiers dans deux nouveaux contextes régionaux, les plaines d'altitude et les zones de piémont. Des éléments de cette typologie caractérisant les systèmes laitiers, ainsi que les enquêtes, ont été ensuite repris pour compléter la typologie de base préalablement construite par Reynaud (1995).

2.2. Modélisation conceptuelle, enquêtes approfondies

La démarche de compréhension des modes de gestion technique dans les exploitations agricoles (Papy, 1994 ; Aubry *et al.*, 1998) a été appliquée à la gestion des effluents d'élevage. Une notion de base est que l'on peut représenter dans l'exploitation agricole, comme dans l'industrie, les décisions techniques sous le double volet de la planification (*i.e.* l'organisation anticipée des décisions sous forme de plans d'action) et du pilotage (*i.e.* la conduite en temps réel du processus de production, dans le cadre du plan d'action) (Besson et Bouquin, 1991). L'étude de la gestion de divers systèmes techniques en agriculture montre que l'agriculteur semble organiser ses décisions selon des plans préalables, qu'il anticipe en se donnant *ex-ante* des règles d'ajustement, qu'il cherche dans l'action à se rapprocher d'une procédure d'analyse et de choix connue dont il a fixé auparavant les grandes lignes (Papy, 1994 ; Cerf, 1994 ; Aubry, 1995). On appelle modèle d'action de l'agriculteur la représentation qu'un observateur extérieur peut donner de ce fonctionnement décisionnel. Cette représentation comprend des objectifs généraux assignés aux décisions, des programmes prévisionnels d'action ou plans, des indicateurs de pilotage et un corps de règles de décisions à prendre à chaque étape du plan (Duru *et al.*, 1988 ; Sebillotte et Soler, 1990). Ainsi, une modélisation conceptuelle de la gestion des effluents d'élevage dans l'exploitation a été réalisée par Aubry *et al.* (2001). Cette modélisation permet de représenter le fonctionnement d'une exploitation, concernant la gestion des matières organiques (MO), sous la forme de variables structurelles, de variables de gestion et de règles de décision associées aux variables de gestion.

Pour ce travail de modélisation, les exploitations enquêtées ont été choisies pour la diversité de leurs systèmes de production au regard de la production ou de l'utilisation des effluents d'élevage : éleveurs hors-sol, éleveurs bovins, éleveurs mixtes, avec ou sans surfaces de culture en propre, producteurs de canne à sucre, maraîchers. Des enquêtes approfondies ont été menées dans 20 exploitations du Sud de l'île (Prêcheur, 1999 ; Rakatomalala, 1999) (Fig. 1). Les enquêtes de Vimeux (1998), dans dix exploitations en diversification maraîchère consommatrices de MO, des Hauts de l'ouest (Fig. 1), et celles de Renault et Paillat (1999) sur une cinquantaine d'exploitations à Grand-Ilet, localité du cirque

de Salazie, ont été également mobilisées. Dans chacune de ces exploitations, 2 à 3 enquêtes d'environ 2 heures chacune ont été menées, portant sur les éléments structurels de l'exploitation et sur la gestion des effluents : calendrier prévisionnel des flux d'effluents produits ou importés, dynamique d'utilisation des dispositifs de stockage, caractéristiques des surfaces d'épandage potentielles et règles d'épandage sur chacune de ces surfaces. Pour l'année d'enquête, les réalisations effectives en termes de production, d'importation ou d'exportation et d'épandage des effluents ont aussi été enregistrées.

Ces enquêtes approfondies ont permis de mieux différencier les types initialement retenus sur la plan de la gestion des MO, notamment en séparant les effluents liquides des solides, certaines exploitations pouvant gérer les deux catégories d'effluents. La typologie s'est donc à nouveau enrichie.

2.3. Base de données « exploitations »

L'ensemble des enquêtes d'exploitations réalisées depuis 1995 dans diverses régions de l'île, avec comme pôle d'intérêt les effluents d'élevage a permis de constituer une base de données qui regroupe environ 200 exploitations. Après avoir classé toutes les exploitations dans la typologie fonctionnelle élaborée, le traitement de cette base de données a permis (i) de mieux définir les clés de répartition typologique, et (ii) d'attribuer aux différents types des caractéristiques structurelles moyennes : surface par culture, cheptels, types d'effluent produits, dispositifs de stockage, équipements, et des stratégies de gestion : épandage sur cultures, en friches, modalités d'épandage, compostage, exportation/importation, prêt de terres. Ces stratégies sont à la base de la constitution des différents scénarios de gestion des MO.

Elaboré à partir des enquêtes sur l'analyse des pratiques des agriculteurs, le modèle conceptuel (Aubry *et al.*, 2001) a permis de renseigner le modèle informatique *MAGMA* (Guérin, 2001). Typologie et scénarios de gestion permettent d'organiser ensuite les simulations avec *MAGMA*.

3. Base typologique, trajectoires d'évolution des exploitations et niveaux de risques

3.1. Typologie des exploitations dans le cirque de Salazie

La typologie régionale réalisée à Salazie propose une classification en trois grands types (Reynaud, 1995) :

- I. les exploitations avec hors-sol prédominant : $TNE^4 / SAU^5 > 10$, nombre de truies > 15 , SAU comprise entre 0 et 2 ha, cultures quasi-inexistantes,
- II. les exploitations mixtes comprenant des ateliers hors-sol et des productions végétales, le plus souvent du maraîchage : TNE / SAU compris entre 3 et 10, nombre de truies compris entre 10 et 25, SAU comprise entre 1 et 5 ha,
- III. les exploitations avec productions végétales prédominantes : $TNE / SAU < 3$, nombre de truies < 10 , nombre de poulets de chairs produits $< 2000/an$, SAU comprise entre 2 et 25 ha.

Il faut noter que les élevages sont qualifiés principalement par leur production porcine, en raison de la position dominante de cette production dans le cirque et du fait que l'effluent produit, le lisier, pose de gros problèmes de gestion à la plupart des agriculteurs.

Différentes catégories ont pu être déterminées au sein de ces grands types. Les tableaux I, II et III donnent les principales caractéristiques des sous-types identifiés.

⁴ une TNE, truie naisseur-engraisseur correspond à 1,25 UGB (Hacala, 2001)

⁵ Surface Agricole Utile

Tableau I. Caractéristiques des exploitations de type I

	Type Ia : les prudents	Type Ib : les entrepreneurs hors-sol
Système de production	1 atelier HS, très souvent porcs : porcs (15 à 30 TNE) ou volailles (200 m ² de bâtiment) ; SAU comprise entre 0 et 1 ha, PV inexistantes	2 ateliers HS à gros effectifs : porcs (20 à 45 TNE) [°] et volailles (200 à 1300 m ² de bâtiment) ; SAU comprise entre 0 et 2 ha, pas ou peu de PV
Filière	Adhérent à la coopérative de porcs et à l'abattoir de volailles	Adhérent à la coopérative de porcs et à l'abattoir de volailles
Appareil de production	Investissements peu élevés, ne veut pas investir dans un 2 nd bâtiment	Investissements importants dans des bâtiments modernes
Main d'œuvre	Pas de MdO extérieure	Possibilité d'embaucher
Objectifs - stratégie	Possède souvent un revenu extérieur ; l'atelier a pour but d'apporter un complément de revenu	Jeune, dynamique, avec souvent des responsabilités professionnelles ; veut créer une grosse structure
Problèmes	Extension limitée de la production porcine par les quotas et les difficultés à gérer le lisier produit ; évolution lente de la production de volailles (marché)	
SAU = surface agricole utile ; HS = hors-sol ; TNE = truie naisseur-engraisseur ; PV = productions végétales ; MdO = main d'œuvre		

Tableau II. Caractéristiques des exploitations de type II

	Type IIa : les diversifiés	Type IIb : les engagés vers le hors-sol
Système de production	TNE/SAU compris entre 3 et 5 : 1 atelier HS (10 à 20 TNE), plus rarement volailles ; PV traditionnelles avec BF (3 à 5 ha) et cultures sous serres	TNE/SAU compris entre 5 et 10 : souvent un atelier porc (15 à 25 TNE), plus rarement un atelier volailles ; PV traditionnelles avec BF (1 à 3 ha)
Filière	HS : coopérative ou indépendant PV : marché ou intermédiaire	HS : coopérative ou indépendant PV : marché ou intermédiaire
Appareil de production	Investissements importants ; mécanisation plus ou moins importante, souvent en CUMA	Investissements dans le bâtiment d'élevage ; mécanisation faible
Main d'œuvre	Familiale	Volonté d'embaucher, mais difficulté
Objectifs - stratégie	Equilibre entre PV et HS	Evolution de l'exploitation vers le HS
Problèmes	Se spécialiser vers IIb (HS) ou IIc (PV)	Evolution vers le type I qui se fait très lentement compte tenu des quotas et de la saturation du marché
SAU = surface agricole utile ; HS = hors-sol ; TNE = truie naisseur-engraisseur ; PV = productions végétales ; BF = bœuf fumier ; CUMA = coopérative d'utilisation du matériel en commun		

Tableau III. Caractéristiques des exploitations de type III

	Type IIIa : les traditionnels	Type IIIb : les maraîchers volontaristes	Type IIIc : les entrepreneurs en PV*
Système de production	HS traditionnel (TNE < 5) BF ; CFVA < 50% ; Canne à sucre, fourrage, cultures à faible valeur ajoutée (SAU < 2,5 ha)	HS traditionnel (5 à 10 TNE) ; BF ; CFVA > 50% ; fruits et légumes (SAU comprise entre 2,5 et 5 ha)	SAU > 5 ha : fruits et légumes, canne à sucre ; parfois atelier HS
Filière	HS : indépendant PV : marché ou intermédiaire	HS : indépendant PV : marché	HS : coopérative ou indépendant PV : marché, GMS , collectivités
Appareil de production	Bâtiment traditionnel ; aucune mécanisation	Bâtiment traditionnel ; mécanisation faible	Bâtiments modernes ; mécanisation (terrains accessibles)
Main d'œuvre	Entraide	Difficulté pour recruter de la MdO chère et rare (RMI)	Possibilité d'embaucher
Objectifs - stratégie	Pas de succession (âgés) ; Complément de revenu, survie	Dynamiques ; amélioration et accroissement de l'appareil de production	Dynamiques souvent avec des responsabilités professionnelles ; veut créer une grosse structure
Problèmes	Abandon prévu à terme	Pas de sécurité d'écoulement ; revenu irrégulier	Écoulement et transformation de la production

SAU = surface agricole utile ; HS = hors-sol ; TNE = truie naisseur-engraisseur ; PV = productions végétales ; MdO = main d'œuvre ; BF = bœuf fumier ; CUMA = coopérative d'utilisation du matériel en commun ; CFVA = cultures à forte valeur ajoutée (maraîchage principalement) ; GMS = grandes et moyennes surfaces ; RMI = revenu minimum d'insertion

Pour l'ensemble du cirque, il a été possible, à partir des enquêtes, des données statistiques et de compléments d'information obtenus auprès des techniciens agricoles de quantifier chacun des types (tableau IV)

Tableau IV. Répartition (%) des types dans le cirque de Salazie

sous-type	a	b	c	total
type				
I	17	17		34
II	10	6		16
III	25	17	8	50

Il y a de grandes disparités entre les localités du cirque, certaines comme Grand-Ilet étant davantage tournée vers la production hors-sol, d'autres comme Hell-Bourg étant plus orientée vers les productions maraîchères. Dans leurs enquêtes sur la production porcine de Grand Ilet, Renault et Paillat (1999) relevaient 65% de type I, 25% de type II et 10% de type III. Dans une enquête complémentaire destinée à connaître les utilisateurs potentiels de MO dans cette localité, les exploitations n'ayant pas de porcs étaient soit de type II avec un atelier de volailles ou du type IIIa sans production animale, hormis quelques bovins.

Il est intéressant de représenter les trajectoires d'évolution de ces exploitations, appréhendées en interprétant les stratégies des exploitants (Fig. 2). Ces trajectoires répondent toutes, mises à part pour les exploitations de type IIIa (abandon) à une logique d'intensification, soit vers les productions animales hors-sol (vers le type I), soit vers les productions maraîchères (vers le type IIIb) ; l'intensification vers le type IIIc est plus rare par manque de surface disponible. Dans ces conditions, la spécialisation des productions tendra nécessairement à l'obligation de transferts de MO entre exploitations. Les contraintes à la production végétale intensive étant très élevées dans le cirque en raison de l'exiguïté et de l'inaccessibilité des parcelles, l'intensification vers l'élevage est très souvent la voie privilégiée, d'où la nécessité à terme d'exporter les effluents d'élevage bruts ou transformés hors de la région.

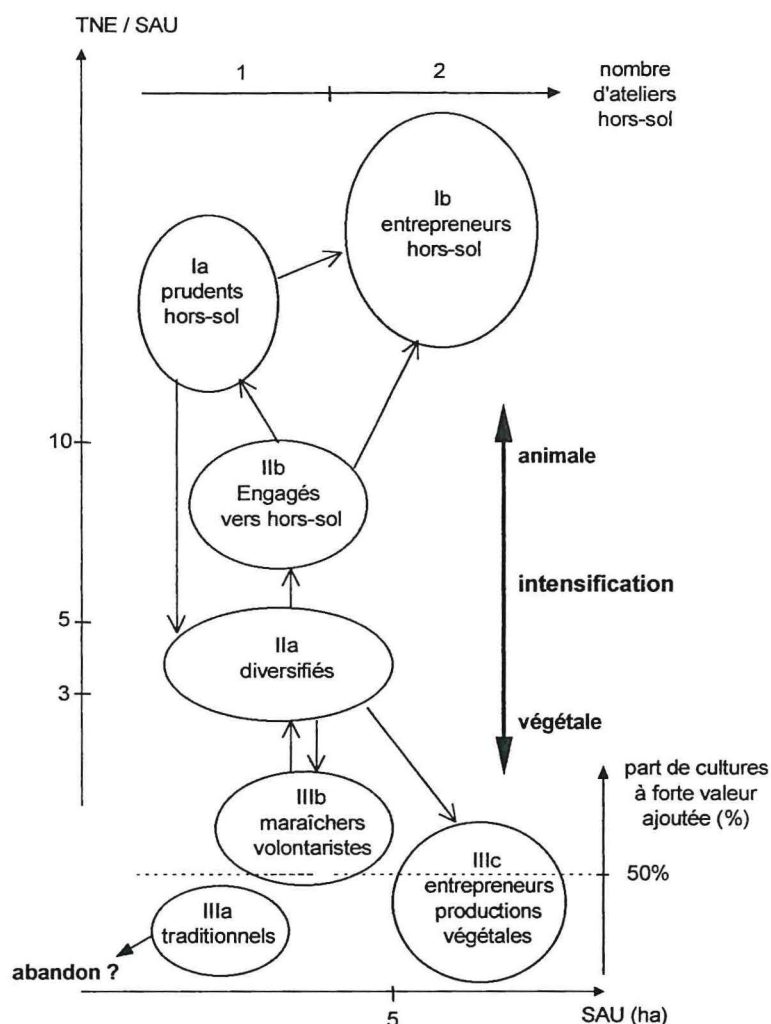


Figure 2. Trajectoires d'évolution entre les différents types d'exploitation à Salazie (d'après Reynaud, 1995)

Des niveaux de risques ont été identifiés dans les pratiques de gestion des effluents de ces différents types d'exploitation :

- risque du type I : débordement des dispositifs de stockage, épandage sur des friches, doses excessives sur les parcelles cultivées, inadéquation entre effluent et culture (par ex. lisier sur maraîchage) ;
- risque du type II : doses excessives sur de petites parcelles cultivées et inadéquation effluent/culture ;
- le type III ne présente pas de risque à priori, si ce n'est le recours excessif aux engrais minéraux et organiques importés sur l'exploitation et un déséquilibre dans la fertilisation lié à la méconnaissance de la valeur des engrais organiques.

Ces niveaux de risque ont été repris pour évaluer les scénarios de gestion simulés par le modèle *MAGMA* : débordement des stocks, épandage en friches, surfertilisation organique des cultures.

3.2. Trajectoires d'évolution à Dos d'Ane

La typologie, précédemment établie, a été utilisée à Dos d'Ane pour classer les exploitations de cette localité. Les trajectoires d'évolution (Fig. 3) marquent les mêmes tendances qu'à Salazie entre

l'orientation vers le hors-sol ou vers le maraîchage. Cependant, alors que dans le cirque de Salazie la MO est en abondance et sujette à des transferts entre exploitations (les effluents sont une nuisance), à Dos d'Ane, la gestion de la MO est plus déterminante :

1. on note des exploitations maraîchères souhaitant développer un élevage pour être plus autonome en approvisionnement de MO⁶ et inversement des exploitations d'élevage, le plus souvent porcine, souhaitant réduire leur activité d'élevage au profit de la mise en valeur de terres en friches par du maraîchage et le compostage des effluents produits ;
2. la mise en valeur des friches, souvent difficiles d'accès, par des fourrages destinés à des bovins producteurs de fumier est un souhait très affirmé par les agriculteurs, pour s'affranchir de l'approvisionnement en MO ; les fourrages seraient également un moyen d'évacuer le lisier produit à moindre frais ; actuellement, les épandages sont très souvent réalisés à plus de 5 km, dans la localité cannière voisine.

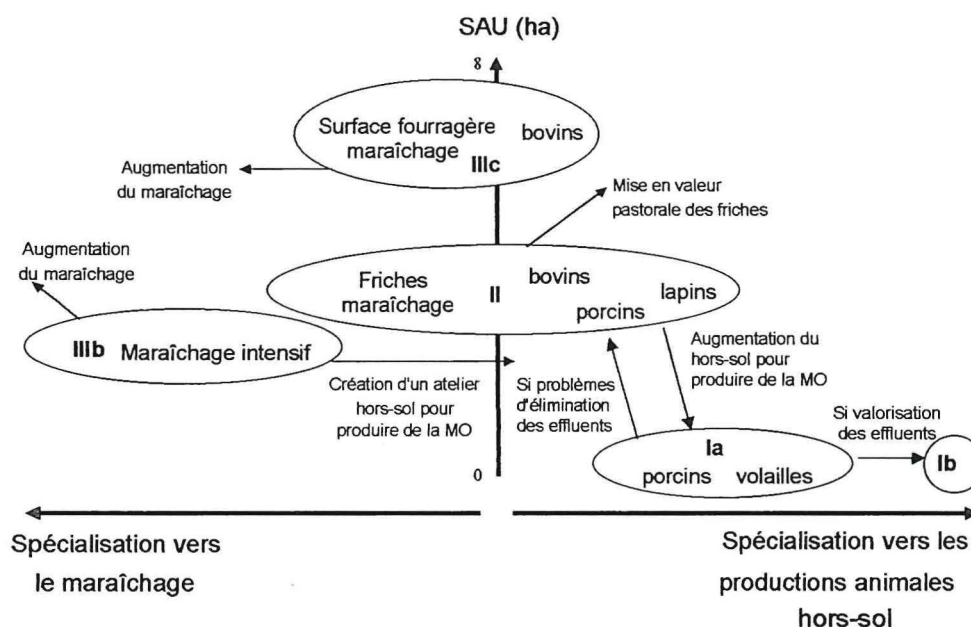


Figure 3. Trajectoires d'évolution entre les différents types d'exploitation à Dos d'Ane (d'après Paillat et Gallo, 1996)

Alors qu'à Salazie, la spécialisation est très fortement tournée vers l'élevage hors-sol (risques de type I), à Dos d'Ane, les deux tendances hors-sol animal et maraîchage sont en relatif équilibre. Les risques sont surtout de type II et III.

Cette étude (Paillat et Gallo, 1996) a permis de confirmer la typologie réalisée à Salazie en l'appliquant à une autre région.

3.3. Typologie des risques dans les exploitations laitières

Suite aux enquêtes en exploitations laitières, Delattre (1996) propose une typologie des systèmes fourragers en trois grands types et différents sous-types (Fig. 4) :

- (A) les exploitations avec un avenir incertain représentant 42% en 1996 :
- A11 = exploitations en cessation d'activité (13,5%) ;
 - A12 = reprise de l'exploitation avec arrêt de la production laitière (9,5%) ;
 - A2 = manque de maîtrise technique (9,5%) ;
 - A3 = jeunes exploitants avec une installation incertaine : manque de foncier (9,5%) ;

⁶ cette stratégie visant à être autonome vis à vis des approvisionnements en MO a été bien mise en évidence par Vimeux (1998) dans les exploitations diversifiées des Hauts de l'Ouest, pour lesquelles les sources de MO sont souvent éloignées.

- (B) les exploitations en cours de spécialisation laitière (16%) ;
- (C) les exploitations à orientation laitière marquée (42%) :
- C11 = autonomie fourragère et limitation des intrants (3%) ;
 - C12 = autonomie fourragère par le report fourrager sous forme d'ensilage (13,5%) ;
 - C2 = gestion du pâturage avec peu de stock (9,5%) ;
 - C31 = déficit fourrager compensé par des achats à l'extérieur (9,5%) ;
 - C32 = déficit fourrager et stratégie d'innovation fourragère : maïs, bagasse, paille de canne (6,5%).

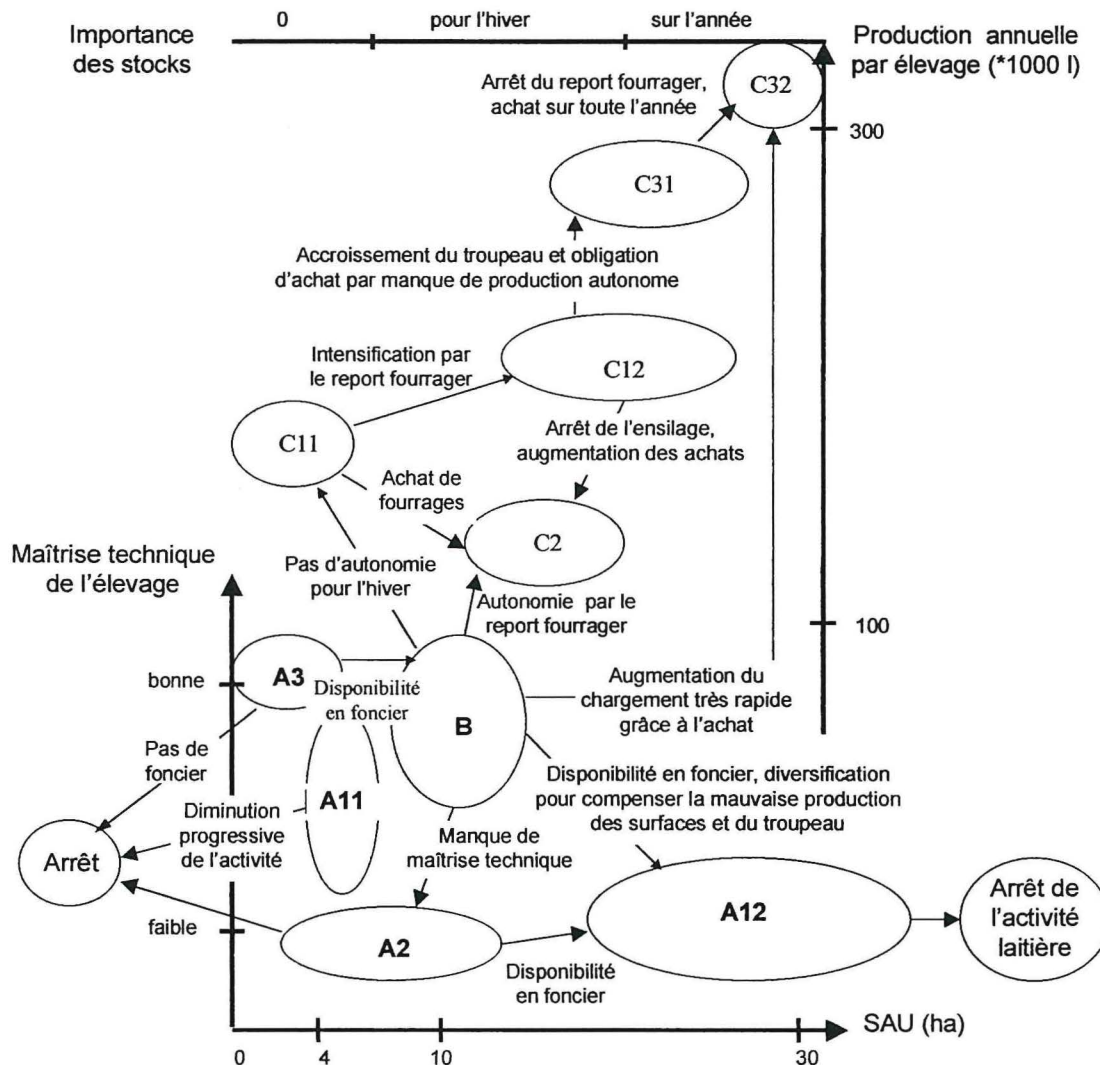


Figure 4. Trajectoires d'évolution des systèmes fourragers en production laitière (d'après Delattre, 1996)

Les exploitations les plus concernées par la gestion des effluents sont celles qui ont intensifié leur système fourrager (C11, C12, C31 et C32) et celles qui développent leur production laitière avec peu de foncier (A3 et B). Les exploitations en cessation d'activité (A11) posent également problèmes dans la mesure où aucun investissement n'y est réalisé.

Partant de cette classification, en ne reprenant que les exploitations de type B et C, qui présentent une orientation laitière marquée et un souhait d'intensification de cette production, Chollet (1998) s'est intéressée au risques liés à la gestion des effluents avec la méthode du bilan azoté à l'échelle de

l'exploitation (Fig. 5). Les soldes d'azote, ou pertes du système, sont tous excédentaires ; ils varient de 150 à 730 kg N/ha SFP⁷ selon le système fourrager, la production laitière par vache, la quantité d'aliment concentré par vache, la surface fourragère et l'exportation d'effluent (tableau V).

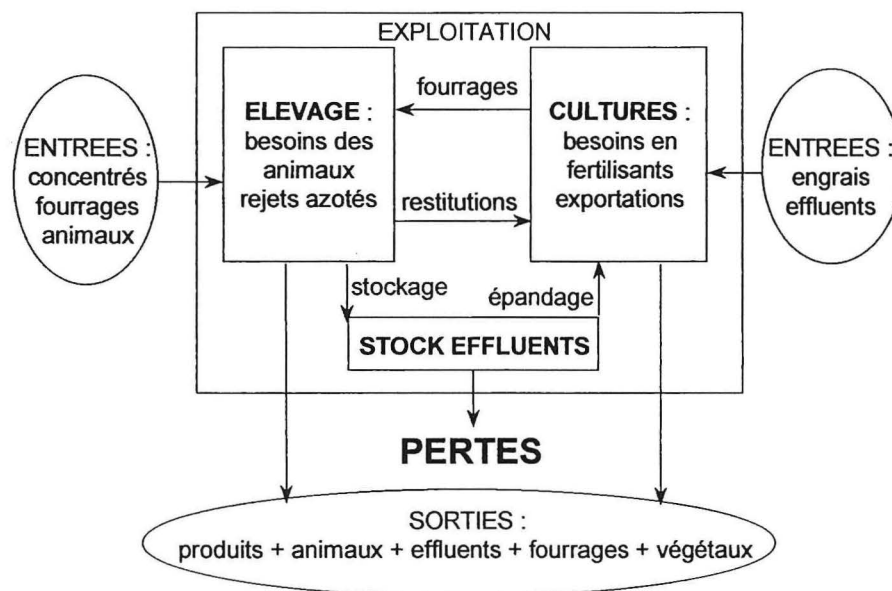


Figure 5. Schématisation des entrées et sorties d'azote dans une exploitation et au niveau des sous-systèmes Elevage, Cultures et Stock d'effluents (d'après Chollet, 1998)

Tableau V. Principaux déterminants des risques de pertes vers l'environnement

	Solde élevé > 400 kg N/ha	Solde moyen 300 à 400 kg N/ha	Solde faible < 300 kg N/ha
Système fourrager	Herbe fauchée ou pâturée	Herbe/bagasse /paille de canne	Canne à sucre / maïs fourrager
Production laitière (l/vache/j)	> 18	13 à 18	< 13
Aliment concentré (t/vache/an)	> 3	2,5 à 3	< 2,5
Surface fourragère (ha)	< 10	10 à 17	> 17
Exportation d'effluent	0	< 50%	> 50%
Localisation des pertes	SFP	SFP	stockages

SFP = surface fourragère principale

La plupart des petites exploitations laitières (< 17 ha) ont été facilement classables dans la typologie de Reynaud (1995). La production laitière nécessitant une surface fourragère minimale malgré le recours de plus en plus fréquent à des aliments importés (bagasse, paille de canne, foin, concentrés), les petites exploitations sont souvent de type II ou apparenté (UGB/SAU compris entre 3,5 et 10). Elles sont de type IIa lorsque les effectifs sont faibles (petites exploitations diversifiées) ou de type IIb pour celles qui ont une orientation laitière très marquée (UGB > 20-25). Pour les grandes exploitations, certaines très intensives (chargements élevés > 3 UGB/ha) avec des grands troupeaux sont de type IIb ; par contre, d'autres présentent des chargements faibles (< 2 UGB/ha) ; selon ce critère, elles seraient classées dans le type III (orientation végétale marquée) par la typologie de Reynaud. Un sous-type supplémentaire IIa' (orientation animale, faible chargement) a donc été ajouté à la typologie de base.

⁷ Surface fourragère principale

3.4. Enquêtes approfondies et exploitation de la base de données

En analysant les clés classificatoires retenues par la typologie de Reynaud (1995) à partir de la base de données, il a été possible de mieux préciser certains seuils utilisés dans la typologie. Ainsi, les seuils suivants ont été retenus comme déterminants :

- 2,5 et 15 pour le rapport UGB/SAU,
- 5 et 25 pour les effectifs d'animaux en UGB,
- 50% pour le rapport maraîchage / cultures pérennes.

Les enquêtes approfondies réalisées pour aboutir au modèle conceptuel de gestion des matières organiques par les agriculteurs réunionnais (Aubry *et al.*, 2001) ont permis d'affiner la typologie de base. En effet, le système de culture (Vimeux, 1998 ; Rakatomalala, 1999) ou le système fourrager (Chollet, 1998), avec très souvent une région associée (piémont, plaines d'altitude, zone de diversification maraîchère, zone cannière), et la nature de l'effluent, voire le type d'animaux (Reynaud, 1995 ; Renault et Paillat, 1999 ; Prêcheur, 1999) sont des notions primordiales à considérer pour qualifier les stratégies de gestion développées par les agriculteurs.

C'est ainsi que, pour compléter la typologie, nous avons été amenés à distinguer :

- dans les exploitations de type Ia, celles qui ne produisent que des effluents liquides de celles qui produisent les deux types d'effluents ; et parmi les effluents solides, le type de fumier produit, correspondant généralement à la production animale (bovins, porcins, volailles) a également permis de distinguer les modes de gestion ;
- dans les exploitations de type Ib, celles ne produisant que des effluents liquides de celles produisant les deux types avec pour cette catégorie, le souhait de valorisation ou non des effluents ;
- dans les exploitations de type IIa et IIb, celles ayant des bovins pour le lait, en distinguant la zone (piémont, plaines d'altitude), de celles ayant du hors-sol distinguées selon le type d'effluent produit et la zone de production (Salazie, zone enclavée d'altitude, et région sud en zone cannière) ;
- dans les exploitations de type IIc, celles faisant en majorité des cultures pérennes de celles faisant également des cultures maraîchères ; parmi les exploitations cannières, il a été également nécessaire de distinguer la superficie cultivée pour différencier les petites exploitations (< 10 ha), des exploitations moyennes (10 à 30 ha) et des grosses exploitations (> 30 ha).

4. Typologie fonctionnelle

Les figures 6 à 9 montrent les exploitations-type retenues après analyses des différentes enquêtes et classifications réalisées et décrites précédemment. Certaines de ces exploitations sont proches entre elles et présentent des stratégies identiques en terme de gestion des effluents, mais il est nécessaire de les distinguer car leur structure (type de cultures, taille de la SAU, type d'élevage et taille du troupeau) sont différentes. Pour la simulation avec le logiciel *MAGMA*, ces données structurelles d'entrée sont nécessaires.

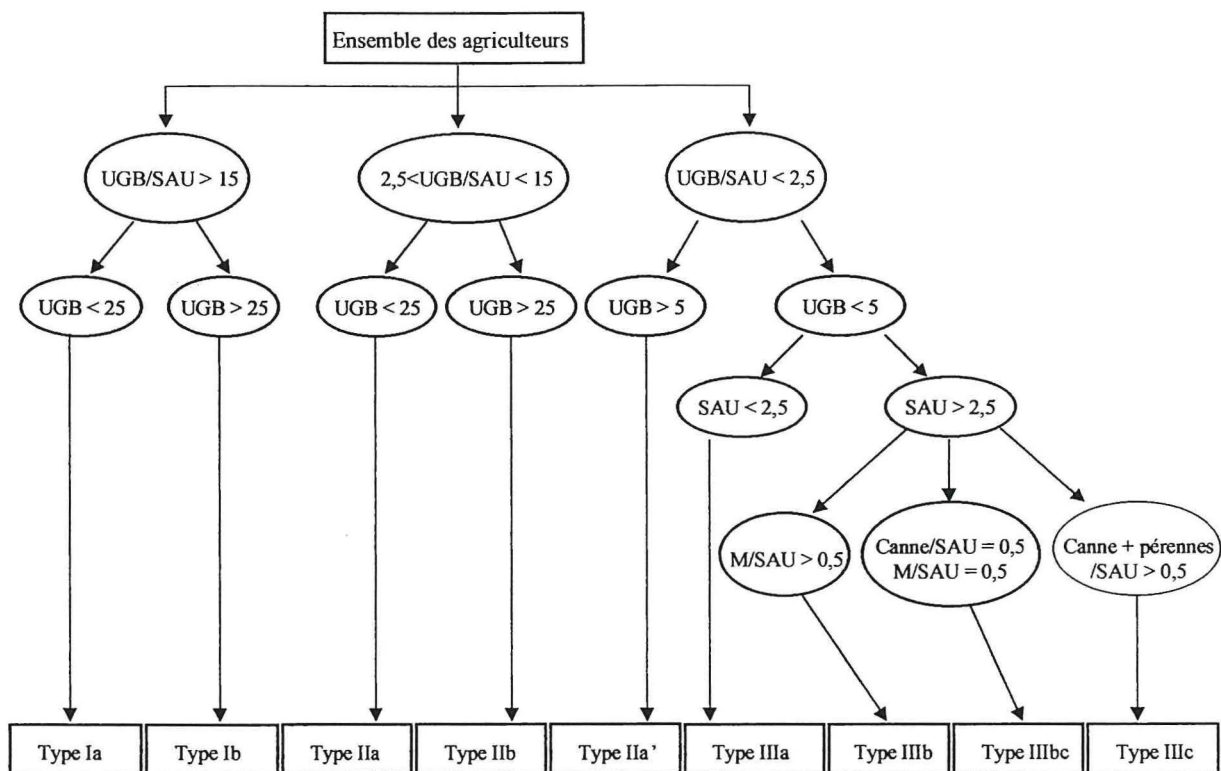


Figure 6. Classification en types et sous-types

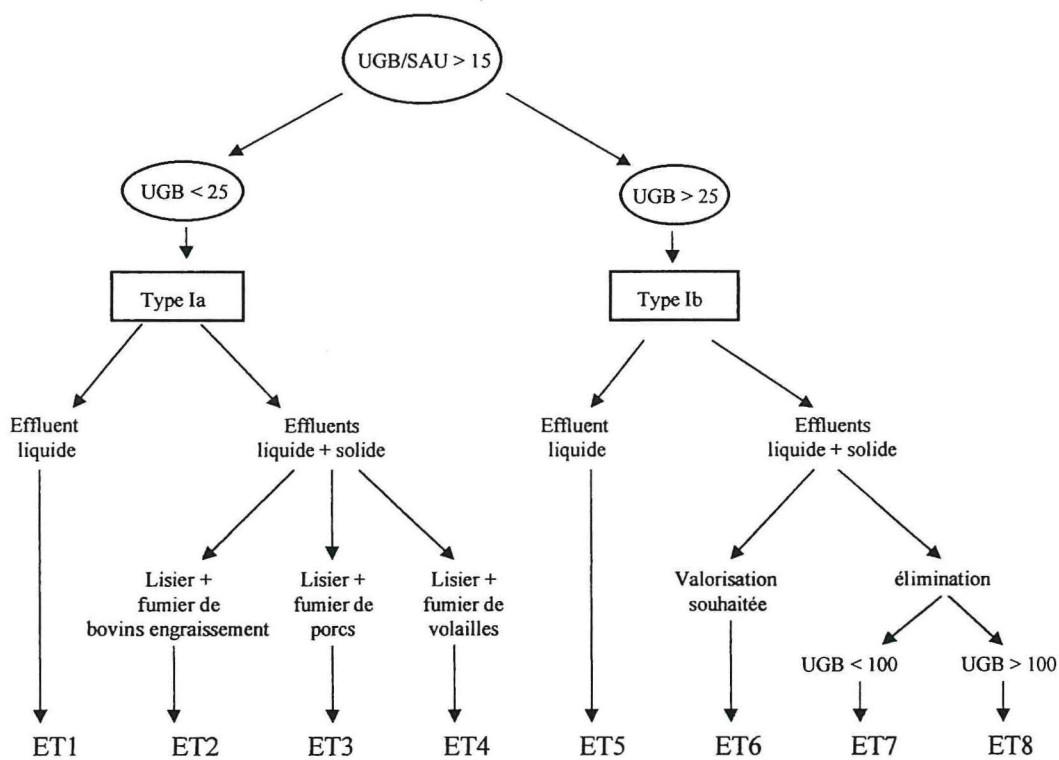


Figure 7. Identification des exploitations-type I

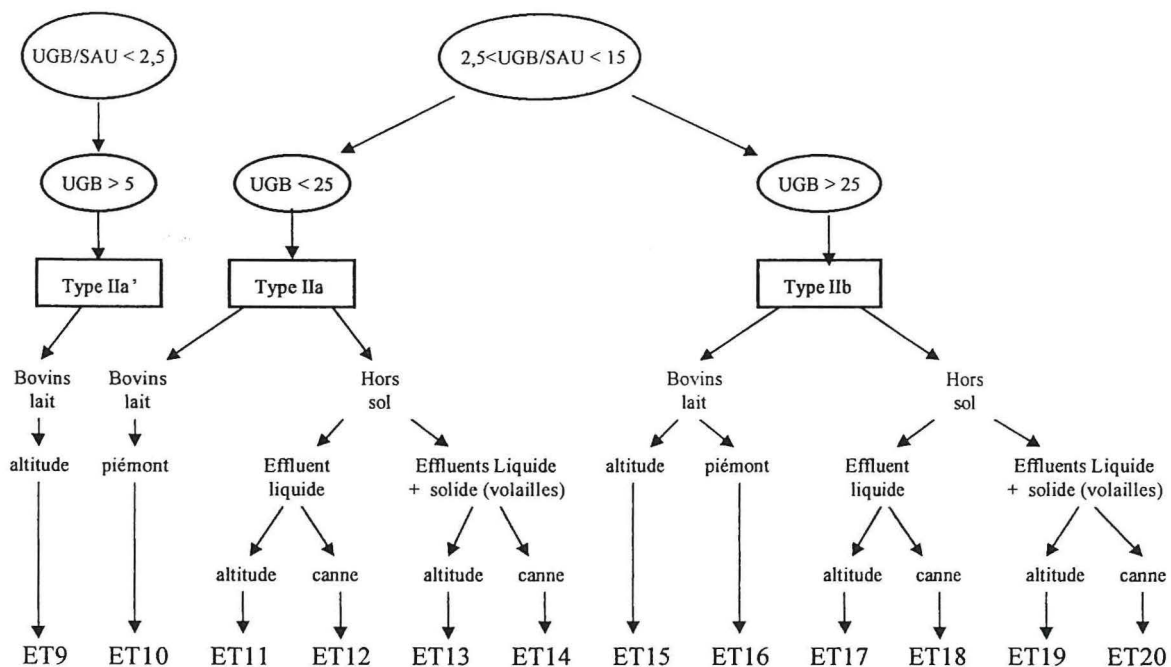


Figure 8. Identification des exploitations-type II

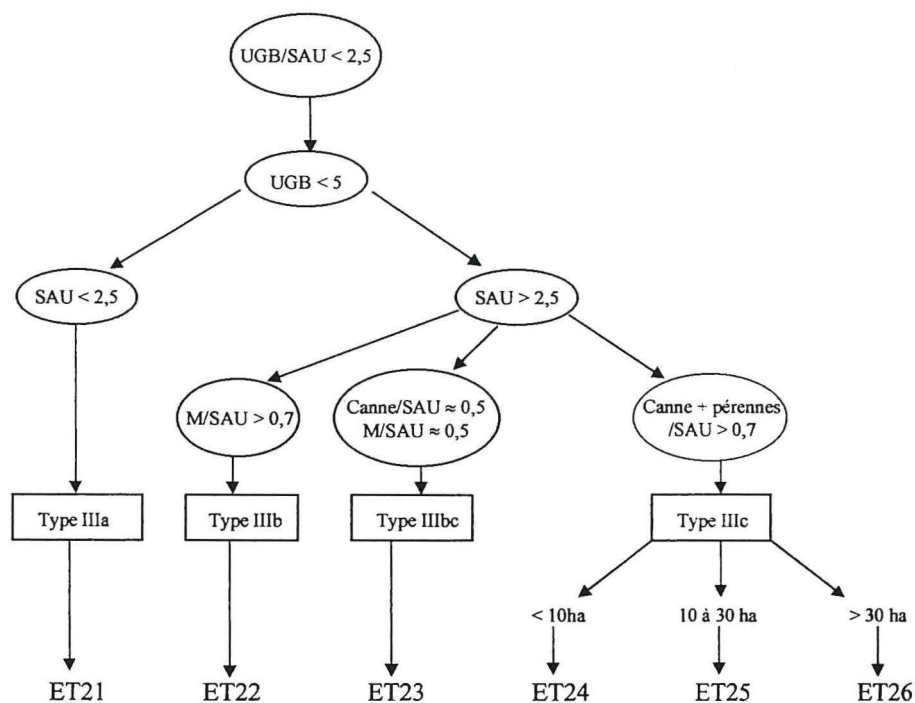


Figure 9. Identification des exploitations-type III

5. Caractérisation des exploitations

5.1. Variables structurelles

Les tableaux VI à IX présentent les caractéristiques principales des exploitations permettant d'effectuer des simulations avec *MAGMA*. Ces caractéristiques doivent être complétées par les calendriers culturels propres aux cultures réalisées et aux 13 zones agro-climatiques identifiées sur l'île (Saint-Macary *et al.*, 2002). Les informations disponibles dans la base de données d'exploitations permettent de distinguer ici 4 zones principales : Cirques (essentiellement Salazie), piémonts (sud et ouest, compris entre 500 et 1000 m), plaines d'altitude (> 1000 m) et canne (toute l'île < 500 m). On notera l'importance des zones de piémonts ou de cirques où les productions animales hors sol sont très présentes.

Tableau VI. Productions animales

	type	Zones principales	UGB totaux	Porcs (UGB)	Volailles (UGB)	Bovins (UGB)
ET1	Ia	Cirques	10 ±7	10 TNE		
ET2	Ia	Cirques	20 ±5	19 TNE		1 BE
ET3	Ia	Piémont sud	15 ±5	15 TN		
ET4	Ia	Cirques	15 ±5	5 TNE	10 VC	
ET5	Ib	Cirques/piémonts	35 ±10	35 TNE		
ET6	Ib	Cirques	35 ±10	17 TNE	18 VC	
ET7	Ib	Cirques/piémonts	70 ±30	30 TNE	40 VC	
ET8	Ib	Cirques/piémonts	130 ±50	55 TNE	75 VC ou PP	
ET9	Ila'	Plaines d'altitude	40 ±30			40 VL + G
ET10	Ila	Piémonts	15 ±7			15 VL
ET11	Ila	Cirques	12 ±7	12 TNE		
ET12	Ila	Piémonts/canne	12 ±7	12 TNE		
ET13	Ila	Cirques	12 ±7	1 E	11 VC	
ET14	Ila	Piémonts/canne	12 ±7	1 E	11 VC	
ET15	Ilb	Plaines d'altitude	80 ±40			80 VL + G
ET16	Ilb	Piémonts	40 ±10			40 VL + G
ET17	Ilb	Cirques	25 ±5	25 TNE		
ET18	Ilb	Canne	25 ±5	25 TNE		
ET19	Ilb	Cirques	35 ±20	17 TNE	18 VC	
ET20	Ilb	Canne/piémonts	40 ±20	25 TNE	15 VC	
ET21	IIla	Cirques/piémonts	1			1 BE
ET22	IIlb	Cirques/piémonts	3			1 VL + 2 BE
ET23	IIlbc	Canne/piémonts/cirques	0			
ET24	IIlc	Canne/piémonts	2			2 BE
ET25	IIlc	Canne	0			
ET26	IIlc	Canne	0			

UGB = unité gros bétail, produisant 73 kg N/an (CORPEN, ?) ; TNE = truie naisseur-engraisseur ; TN = truie naisseur ; VC = volaille de chair ; PP = poule pondeuse ; BE = bovin engraissement ; VL = vache laitière ; G = génisses

Tableau VII. Productions végétales

	type	SAU (ha)	Maraîchage (ha)	Maïs (ha)	Canne à sucre (ha)	Fruitiers (ha)	Prairies (ha)	Friches (ha)
ET1	Ia	0,9	0,5 (2)					0,4
ET2	Ia	1,5	0,2 (1)				0,5 (1)	0,8
ET3	Ia	0						
ET4	Ia	0,2	0,2 (1)					
ET5	Ib	1,3	0,6 (2)			0,2 (1)		0,5
ET6	Ib	1,7	0,2 (1)	0,2 (1)				1,3
ET7	Ib	4,5	0,4 (2)			0,6 (1)		3,5
ET8	Ib	4,6	0,6 (2)					4,0
ET9	IIa'	25,0					25,0 (10)	
ET10	IIa	4,0		0,5 (1)	0,5 (1)		3,0 (2)	
ET11	IIa	3,4	2,1 (5)	0,3 (1)				1,0
ET12	IIa	3,0			3,0 (2)			
ET13	IIa	2,2	1,2 (4)					1,0
ET14	IIa	3,0			3,0 (2)			
ET15	IIb	23,0					23,0 (8)	
ET16	IIb	8,7		1,5 (2)	1,7 (2)		5,5 (2)	
ET17	IIb	6,8	1,9 (4)			2,7 (2)		2,2
ET18	IIb	8,0			8,0 (5)			
ET19	IIb	5,7	2,7 (5)					3,0
ET20	IIb	11,0	2,0 (4)	1,0 (2)	8,0 (5)			
ET21	IIIa	2,4	1,0 (3)	0,2 (1)			0,2 (1)	1,0
ET22	IIIb	5,6	3,0 (6)	0,4 (1)		0,2 (1)	1,0 (1)	1,0
ET23	IIIbc	10,0	4,0 (8)		4,0 (3)	2,0 (2)		
ET24	IIIc	6,6			5,0 (4)	0,6 (1)	1,0 (1)	
ET25	IIIc	20,0	1,0 (1)		17,0 (8)	2,0 (1)		
ET26	IIIc	80,0	2,0 (1)		75,0 (15)	3,0 (1)		

SAU = surface agricole utile ; () = nombre de parcelles pouvant avoir une gestion indépendante pour les épandages

Tableau VIII. Moyens disponibles pour l'épandage d'effluents

	type	MdO (UTH)	MdO (h/j)	MdO (j/semaine)	Matériel utilisé pour l'épandage
ET1	Ia	1,0	6	4 3 (dec-jan ; avril-juin)	Tracteur + tonne 4000 l (entraide)
ET2	Ia	1,5	5	3	Tracteur + tonne 4000 l (propriété)
ET3	Ia	1,5	4	4	Tracteur (location) + tonne 4000 l (propriété)
ET4	Ia	1,0	5	3	Tracteur + tonne 4000 l (entraide) + camionnette 2,5 t (propriété)
ET5	Ib	1,5	5	3	Tracteur + tonne 6000 l (propriété)
ET6	Ib	1,5	5	3	Tracteur + tonne 4000 l (entraide) + camionnette 3,5 t (propriété)
ET7	Ib	2,5	5	3	Tracteur + chargeur + tonne 6000 l

ET8	Ib	4,0	6	3	+ épandeur 6 t (propriété) Tracteur + chargeur + tonne 8000 l + épandeur 10 t (propriété)
ET9	Ila'	1,5	3	4	Tracteur + tonne 6000 l + remorque 4 t (propriété)
ET10	Ila	1,0	4	4	Camionnette 2,5 t (propriété)
ET11	Ila	2,0	6	5 2 (dec-jan ; avril-juin)	Tracteur + tonne 4000 l (entraide) + camionnette 3,5 t (propriété)
ET12	Ila	1,0	6	4 2 (juil-nov)	Tracteur + tonne 4000 l (propriété)
ET13	Ila	1,5	6	4 3 (dec-jan ; avril-juin)	Camionnette 2,5 t (propriété)
ET14	Ila	1,0	6	4 2 (juil-nov)	Tracteur + remorque 4 t (propriété)
ET15	Ilb	2,0	4	4	Tracteur + chargeur + tonne 8000 l + épandeur 8 t (propriété)
ET16	Ilb	2,5	4	4	Tracteur + chargeur + tonne 6000 l + épandeur 6 t (propriété)
ET17	Ilb	2,0	6	3 2 (dec-jan ; avril-juin)	Tracteur + tonne 4000 l (entraide) + camionnette 3,5 t (propriété)
ET18	Ilb	1,5	5	4 2 (juil-nov)	Tracteur + chargeur + tonne 4000 l + remorque 10 t (propriété)
ET19	Ilb	2,0	5	3 2 (dec-jan ; avril-juin)	Tracteur + tonne 4000 l + remorque 4 t (propriété)
ET20	Ilb	2,5	5	4 3 (dec-jan ; avril-juin) 2 (juil ; oct)	Tracteur + chargeur + tonne 6000 l + remorque 10 t + camionnette 3,5 t (propriété)
ET21	IIla	1,0	6	4 3 (dec-jan ; avril-juin)	aucun
ET22	IIlb	1,5	6	4 2 (dec-jan ; avril-juin)	Camionnette 3,5 t (propriété)
ET23	IIlbc	3,0	7	4 3 (dec-jan ; avril-juin) 2 (juil ; oct)	Tracteur + remorque 8 t + camion 7 t (propriété)
ET24	IIlc	1,5	6	3 2 (juil-nov)	Tracteur + remorque 8 t (propriété)
ET25	IIlc	2,5	7	5 3 (juil-nov)	Tracteur + chargeur (propriété) + épandeur 10 t + tonne 10000 l (location)
ET26	IIlc	4,0	8	5 3 (juil-nov)	Tracteur + chargeur + tonne 10000 l (propriété) + épandeur 10 t (location)

MdO = disponibilité de la main d'œuvre pour l'épandage des effluents ; UTH = unité de travail humain

Tableau IX. Production, stockage et exportation des effluents

	type	Estimation* de la production annuelle d'effluent (m ³)	Stockage lisier ou fientes (m ³)	Stockage fumier ou compost (m ³)	Exportation (+) importation (-) annuelles (m ³)	Périodes d'import/export (localisation)
ET1	Ia	LP = 150	50		LP = +50	Août-oct
ET2	Ia	LP = 300 FB = 10	100	10 (au champ)	LP = +100	Août-oct
ET3	Ia	LP = 150 FP = 120	50	80 (au champ)	LP = +100 FP = +100	Juil-déc
ET4	Ia	LP = 100	30		LP = +30	Août-oct

		FV = 120		50 (PF nc)	FV = +30	Sept-fév
ET5	Ib	LP = 550	200		LP = +400 LP = +100	Juil-déc (piémont) Août-oct (cirques)
ET6	Ib	LP = 300 FV = 200	100	80 (PF nc)	LP = +100 FV = +100	Août-oct Sept-fév
ET7	Ib	LP = 500	160		LP = +150 LP = +400	Août-oct (cirques) Juil-déc (piémont)
		FV = 500		150 (PF nc)	FV = +300	Sept-fév
ET8	Ib	LP = 900	300		LP = +200 LP = +600	Août-oct (cirques) Juil-déc (piémont)
		FV = 900 (ou FPP = 750)	(200)	300 (PF nc)	FV = +800 (FPP = +700)	Sept-fév Août-oct
ET9	Ila'	LB = 300	80		LP = -500	
ET10	Ila	LB = 60 FB = 130	10	80 (au champ)	LP = -100 FB = +60	
ET11	Ila	LP = 200	40		LP = +100	Août-oct
ET12	Ila	LP = 200	40			
ET13	Ila	LP = 10 FV = 150	10	50 (au champ)	FV = +70	Sept-fév
ET14	Ila	LP = 10 FV = 150	10	50 (au champ)	LP = -80 FV = +100	Juil-déc Sept-fév
ET15	Ilb	LB = 600	200		LP = -400	
ET16	Ilb	LB = 150 FB = 350	50	100 (PF nc)	LP = -100 FB = +100	Sept-fév
ET17	Ilb	LP = 400	130		LP = +100 FV = -100	Août-oct Sept-fév
ET18	Ilb	LP = 400	130			
ET19	Ilb	LP = 300 FV = 200	100	80 (PF nc)	LP = +100	Août-oct
ET20	Ilb	LP = 400 FV = 160	130	60 (PF nc)		
ET21	IIla	FB = 10		10 (au champ)	FV = -30	Sept-fév
ET22	IIlb	FB = 40		40 (au champ)	FV = -80 LP = -50	Sept-fév Août-oct
ET23	IIlbc				LP = -100 FV = -250	Juil-déc
ET24	IIlc	FB = 20		20 (au champ)	LP = -150	Juil-déc
ET25	IIlc				LP = -400 FV = -50	Juil-déc
ET26	IIlc				LP = -1500 FV = -100	Juil-déc

LP = lisier de porc ; LB = lisier de bovin ; FPP = fientes de poules pondeuses ; FP = fumier de porc ; FV = fumier de volaille ; FB = fumier de bovin ; () = effluent en faible quantité par rapport à la production totale d'effluent de l'exploitation-type ; PF nc = plate-forme non couverte

* calculs effectués d'après Aubry *et al.* (2001)

Pour réaliser des simulations avec *MAGMA*, il est nécessaire d'initialiser les stocks d'effluents au 1^{er} janvier. Nous proposons donc les valeurs suivantes compatibles avec les périodes de besoins des cultures utilisatrices (Aubry *et al.*, 2001) : 10% pour le lisier de porc, correspondant au début de remplissage, les fosses ayant été vidées en fin de campagne sucrière (décembre), 80% pour les fumiers de bovin, de volaille et de porc et les composts, ces produits étant majoritairement utilisés à partir de février sur cultures maraîchères, et 50% pour les lisiers de bovin souvent utilisé régulièrement toute l'année.

Dans les systèmes fourragers, nous considérons que les vaches laitières sont sur pâturage productif 50% du temps en zone de prairies d'altitude (ET9 et ET15) et 25% du temps en zone de piémont (ET10 et ET16). Il est donc nécessaire de diminuer les besoins annuels des prairies, initialement à 350 kg N/ha, des restitutions par les animaux. Les besoins azotés des prairies en effluents ou engrais, en tenant compte des restitutions, sont donc de 300 et 250 kg N/ha pour ET9, ET10 et ET15, ET16, respectivement. Ces caractéristiques jouent sur les quantités d'effluent potentiellement importées.

5.2. Stratégies de gestion des MO

On peut considérer plusieurs niveaux pour la simulation de stratégies de gestion des effluents et des alternatives permettant d'améliorer cette gestion :

- les stratégies de niveau 1 concernent le pilotage et la planification des épandages : modes de régulation des stockages (seuil d'intervention par exemple), fractionnement des épandages sur la sole, modification des doses épandues, des périodes et modalités d'épandage ;
- celles de niveau 2 visent une modification d'éléments structurels tout en gardant l'organisation de l'exploitation : réalisation d'équipements pour le stockage, la couverture de bâtiment, achat de matériel de transport, d'épandage ... ;
- celles de niveau 3 proposent une modification du mode de production et de l'organisation : transformation des effluents, adhésion à une unité de traitement, exportation/importation, location/prêt de terres, mise en culture des friches, modification des assolements ;
- celles de niveau 4 visent le changement du système de production, ce qui revient à un changement de cas-type.

Les stratégies et alternatives de niveaux 1 et 2 sont à considérer en premier lieu dans les simulations avec *MAGMA*. Ces alternatives de premier ordre, non spécifiques, sont d'emblée à tester pour chaque exploitation-type.

La plupart des alternatives listées ici (tableau X) correspondent à une modification de l'organisation de l'exploitation (niveau 3).

Tableau X. Modes de gestion actuels des effluents et alternatives possibles

	type	Stratégies actuelles	Alternatives
ET1	la	LP sur maraîchage si périodes possibles, épandage sur friches sinon LP à la ravine si problème de disponibilité en matériel	1. Adhésion à une unité de traitement avec récupération de 50% des produits solides 2. Compostage individuel avec bagasse ou paille de canne + mise en culture de 50% des friches
ET2	la	FB sur maraîchage LP sur prairie ou maraîchage si périodes possibles + exportation locale, épandage sur friches sinon	1. Adhésion à une unité de traitement sans récupération des produits solides 2. Compostage individuel avec bagasse ou paille de canne + exportation compost 3. Mise en culture de 50% des friches
ET3	la	Exportation locale du LP (canne, prairie) et du FP (maraîchage) LP à la ravine si problème d'écoulement et de disponibilité en matériel	1. Elevage sur litière si problème d'écoulement du lisier 2. Location de terres d'épandage (canne) 3. Adhésion à une unité de traitement sans récupération des produits
ET4	la	FV sur maraîchage + exportation locale LP à la ravine si problème d'écoulement et de disponibilité en matériel	1. Adhésion à une unité de traitement sans récupération des produits
ET5	lb	LP sur friches, fruitiers et maraîchage + exportation locale sur maraîchage dans les cirques, sur canne en piémont LP à la ravine si problème d'écoulement	1. Adhésion à une unité de traitement avec récupération de 25% des produits solides 2. Mise en culture de 50% des friches

		(fréquent)	3. Location de terres d'épandage (si zone canne)
ET6	Ib	FV sur maraîchage + exportation locale LP sur friches et fruitiers + exportation locale (maraîchage) LP à la ravine si problème d'écoulement et de disponibilité en matériel (fréquent)	1. Adhésion à une unité de traitement sans récupération des produits 2. Mise en culture de 50% des friches 3. Compostage individuel FV + LP avec bagasse ou paille de canne + exportation compost (80%)
ET7	Ib	FV sur maraîchage + exportation locale LP sur friches et fruitiers + exportation locale sur maraîchage dans les cirques, sur canne en piémont LP à la ravine si problème d'écoulement (fréquent)	1. Adhésion à une unité de traitement sans récupération des produits 2. Compostage individuel LP avec bagasse ou paille de canne + exportation compost (80%)
ET8	Ib	FV sur maraîchage + exportation locale LP sur friches + exportation locale sur maraîchage dans les cirques, sur canne en piémont Essai de transformation individuelle FV + LP avec bagasse ou copeaux + exportation du compost en partie à grande distance (> 50 km)	1. Adhésion à une unité de traitement sans récupération des produits 2. Unité de traitement individuelle (ou entre quelques gros producteurs d'effluents) avec compostage des co-produits + exportation 3. Recherche de débouchés pour FV et compost même à grande distance (> 50 km)
ET9	Ila'	LB sur prairies	1. Importation de LP 2. Paillage partiel des VL et fabrication de compost épandu sur prairies
ET10	Ila	LB sur prairies LB à la ravine si problème de disponibilité en matériel (fréquent) FB sur maïs et canne	1. Mise aux normes des bâtiments d'élevage (fosse adaptée, aires couvertes) 2. Importation de LP 3. Compostage du FB pour épandage sur prairies
ET11	Ila	LP sur maraîchage, maïs et friches LP à la ravine si problème de disponibilité en matériel	1. Adhésion à une unité de traitement avec récupération de la totalité des produits solides 2. Mise en valeur de 50% des friches + importation FV ou compost
ET12	Ila	LP sur canne + exportation locale	1. Adhésion à une unité de traitement pour traiter la moitié du LP avec récupération des produits solides pour la replantation canne
ET13	Ila	LP sur friches FV sur maraîchage	1. Compostage LP et FV 2. Mise en valeur de 50% des friches
ET14	Ila	LP sur canne FV sur canne + exportation	1. Importation de LP
ET15	Ilb	LB sur prairies	1. Importation de LP ou FPP 2. Paillage partiel des VL et fabrication de compost épandu sur prairies
ET16	Ilb	LB sur prairies, maïs et canne FB sur maïs et canne + exportation	1. Importation de LP 2. Compostage du FB pour épandage sur prairies + exportation (1/3)
ET17	Ilb	LP sur fruitiers et friches + exportation locale (maraîchage) Importation FV ou compost pour maraîchage	1. Compostage individuel LP avec bagasse ou paille de canne 2. Adhésion à une unité de traitement pour traiter la moitié du LP avec récupération des produits solides pour le maraîchage 3. Mise en valeur de 50% des friches + importation FV et compost

ET18	IIb	LP sur canne	OK
ET19	IIb	LP sur friches + exportation locale (maraîchage) FV sur maraîchage Essai de transformation individuelle FV + LP avec bagasse ou copeaux	1. Adhésion à une unité de traitement pour traiter la totalité du LP avec récupération des produits solides pour le maraîchage 2. Mise en valeur de 50% des friches
ET20	IIb	LP sur canne FV sur maraîchage et maïs	OK
ET21	IIIa	FB sur maraîchage Importation locale de FV	1. Importation de compost
ET22	IIIb	FB sur maraîchage Importation de FV même à grande distance Importation de LP localement	1. Augmentation de l'atelier bovin + mise en valeur de 80% des friches (maraîchage et fourrages) 2. Compostage de déchets animaux et végétaux 3. Importation de compost
ET23	IIIbc	Importation LP sur canne et fruitiers Importation FV sur maraîchage	1. Importation de compost
ET24	IIIc	FB sur replantation canne Fertilisation minérale dominante Importation locale LP sur canne et fruitiers	1. Importation FV sur replantation canne 2. Prêt de terres pour l'épandage de LP
ET25	IIIc	Fertilisation minérale dominante Importation locale LP sur canne et fruitiers Importation FV sur maraîchage et replantation canne	1. Importation compost sur maraîchage 2. Prêt de terres pour l'épandage de LP
ET26	IIIc	Fertilisation minérale dominante Importation locale LP sur canne et fruitiers Importation FV sur maraîchage et replantation canne	3. Importation compost sur maraîchage 4. Prêt de terres pour l'épandage de LP

6. Conclusion

La typologie fonctionnelle réalisée à partir d'enquêtes menées sur plusieurs années est un outil intéressant pour deux principales raisons :

1. elle permet d'organiser les simulations de différentes stratégies de gestion des effluents avec *MAGMA* ; les tests effectués seront utiles pour construire une nouvelle représentation de la gestion des effluents en caractérisant les risques associés aux pratiques pour chaque exploitation-type et les moyens de les réduire ; l'utilisation de la modélisation avec *MAGMA*, au delà de la représentation, doit conduire à l'élaboration d'un conseil agricole renouvelé prenant en compte le problème spécifique de la gestion de la matière organique ; un projet de recherche est en cours d'élaboration en ce sens ;
2. sur la base du recensement de l'agriculture (RGA), réalisé récemment à la Réunion, il devient possible de classer les exploitations dans cette typologie de manière à obtenir une spatialisation des pratiques de gestion des effluents ; le croisement de cette typologie comprenant les stratégies de gestion avec la typologie des zones pédo-climatiques et des systèmes de cultures associés (Saint-Macary *et al.*, 2002) constitue un référentiel de base.

Des précautions sont cependant à considérer dans l'utilisation de cette typologie. Les enquêtes ayant conduit à sa construction, bien qu'ayant comme thème commun la gestion des effluents, étaient

relativement disparates en terme de précision (échantillonnage) et de population enquêtée. De plus, certaines zones de l'île ont donc été plus représentées que d'autres. De ce fait, la typologie reste valable en terme de classification, mais les seuils utilisés pourraient s'avérer décalés lors d'une utilisation plus large. De même, pour les exploitations-type définies, si les caractéristiques de gestion sont conservées, les caractéristiques structurelles doivent vraisemblablement être adaptées. Un travail d'ajustement peut donc s'avérer utile dans le cadre de l'utilisation de la typologie pour spatialiser les pratiques de gestion des effluents à la Réunion.

Pour poursuivre, il serait pertinent de tester un tel outil, avec le modèle *MAGMA* qui lui est associé, dans d'autres contexte que celui de la Réunion. Un travail en région Bretagne où les informations sur les exploitations agricoles sont nombreuses, serait intéressant à mener.

7. Remerciements

Pour avoir mené les enquêtes et participé à la construction de cette typologie, nous tenons à remercier Laure Carut, Sophie Chollet, Frédéric Delattre, Jean-Yves Gallo, Pascal Lebre, Manuel Martin, Eric Piquet, Hélène Prêcheur, Luc Rakotomalala, Damien Renault, Sylvie Reynaud, Thierry Vimeux. Nos remerciements vont également à tous les agriculteurs et techniciens des organismes de développement qui ont consacré du temps pour ces enquêtes.

8. Bibliographie

- AUBRY C., PAILLAT, J.M., GUERRIN F., 2001. Modélisation conceptuelle de la gestion des effluents d'élevage à la Réunion. Rapport technique CIRAD-Tera n°16/01, Saint Denis de la Réunion, 46 p+ annexes
- AUBRY C., 1995. Gestion de la sole d'une culture dans l'exploitation agricole. Cas du blé d'hiver en grande culture dans la région picarde. Thèse INA-PG, Paris, 271 p. + annexes.
- AUBRY C., BIARNES A., MAXIME F. & PAPY F., 1998. Modélisation de l'organisation technique de la production dans l'exploitation agricole : la constitution de systèmes de culture. *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, 31, 25-43.
- AUBRY C., PAPY F., & CAPILLON A., 1998. Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agricultural Systems*, Vol 56, 1, 45-65.
- BESSON P. & BOUQUIN H., 1991. Identité et légitimité de la fonction contrôle de gestion. *Revue Française de Gestion*, janvier-février 1991, 60-71.
- CANEILL J., CAPILLON A., 1990. La destination des déjections animales en montagne : un enjeu pour les relations entre activité agricole et préservation de l'environnement. *Fourrages*, vol 123, 313-328.
- CAPILLON A., MANICHON H., 1991. Guide d'étude de l'exploitation agricole. *In* : *Relance agronomique*, INA-PG/APCA, 65 p.
- CERF M., 1994. Essai d'analyse psychologique des connaissances techniques et pratiques des agriculteurs : application au raisonnement de l'implantation des betteraves sucrières. Thèse de doctorat, Paris VIII, département Psychologie des processus cognitifs, 274 pages + annexes.
- CHOLLET S., 1998. Modélisation des flux d'azote dans les exploitations laitières à la Réunion - Relation avec les pratiques et conséquences sur la gestion des effluents dans la filière laitière. Mémoire de DAA, Ensa Rennes, Cirad, La Réunion, 50 p. + annexes.
- DELATTRE F., 1996. Analyse des pratiques et stratégies de gestion des stocks fourragers chez les éleveurs de bovins laitiers de la Réunion. Mémoire de DAA, INA-PG, Paris, 54 p + annexes.
- DURU M., PAPY F. & SOLER L.-G., 1988. Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *C.R. Acad. Agric. Fr.*, 74, 81-91.
- GUERRIN F., 2001. Magma: A model to help manage animal wastes at the farm level. *Computers and Electronics in Agriculture*, 33(1): 35-54.

- HACALA S., BODET J.M., AUBERT C., TEXIER C., 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme. Institut de l'élevage, ITAVI, ITCF & ITP Eds., Paris, 105 p.
- MVAD, 1997. Le Gisement de déchets organiques à la Réunion. Inventaire 1996 et évolution. Rapport technique, Chambre d'Agriculture, Saint Denis de la Réunion, 136p.
- PAILLAT J.-M., 1998. Gestion des effluents d'élevage à La Réunion : transformer la nuisance en fertilité - Programme de recherche CORDET 94 DA 51 - Rapport final. Rapport Cirad-Tera, S^t Denis de la Réunion, 63 p.
- PAILLAT J.-M., GALLO J.-Y., 1996. Analyse des flux de matières organiques dans la localité de Dos d'Ane. Rapport technique CIRAD-SAR, Centre de coopération Internationale de Recherche Agronomique pour le Développement, S^t Denis de La Réunion, 38 p. + annexes.
- PAILLAT J.-M. & GUERRIN F., 1998. Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité à l'échelle d'un territoire. Cas de la gestion individuelle et collective des effluents d'élevage à l'île de la Réunion. Proposition d'action thématique programmée 99/60, Cirad Tera/Ere, La Réunion, 17p.
- PAPY F. (1994). Working Knowledge concerning technical systems and decision support. Rural and Farming Systems Analysis, European Perspectives, JB Dent & MJ McGregor Eds, Cab International, UK, 222-235.
- PRECHEUR H., 1999. Gestion des effluents dans les élevages du sud de la Réunion - Constitution d'un modèle d'action. Mémoire de DAA, Ensa Rennes, Cirad, La Réunion, 52 p. + annexes.
- RAKOTOMALALA L., 1999. Etude de la gestion de la matière organique en productions végétales dans le sud de l'île de la Réunion - Analyse des pratiques et constitution d'un modèle d'action. Mémoire de DESS « Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales », Université Paris XII-Créteil, Cirad, La Réunion, 55 p. + annexes.
- RENAULT D., PAILLAT J.-M., 1999. Analyse de la production et de l'utilisation des effluents porcins à Grand-Ilet, localité de l'île de La Réunion (cirque de Salazie). Rapport Cirad-Tera/Ere, S^t Denis de La Réunion, 50 p. + annexes.
- REYNAUD S., 1995. Diagnostic des pratiques agricoles pour une meilleure compréhension des transferts d'effluents d'élevage. Mémoire de DAA, INA-PG, Paris, 58 p. + annexes.
- SAINT-MACARY H., MEDOC J.-M., CHABALIER P.-F., 2002. Systèmes de culture de La Réunion. Un référentiel spatialisé pour l'aide à la gestion des déchets organiques. Actes du séminaire « Modélisation des flux de biomasse et des transferts de fertilité - cas de la gestion des effluents d'élevage à l'île de la Réunion », ATP 99/60 CIRAD, Guerrin et Paillat Ed., 19-20 juin 2002, Montpellier, France (à paraître).
- SEBILLOTTE M. & SOLER L.-G., 1990. Les processus de décision des agriculteurs. Acquis et questions vives. Modélisation systémique et Systèmes agraires, INRA, Paris, Brossier *et al.* Eds, 88-102.
- SIMON J.C., PEYRAUD J.L., DECAU M.L., DELABY L., VERTES F., DELAGARDE R., 1997. Gestion de l'azote dans les systèmes prairiaux pâturés permanents ou de longue durée. *In*: Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, G. Lemaire & B. Nicolardot Ed., 19-20 nov. 1996 Reims F., INRA Editions, 201-216.
- VIMEUX L., 1998. La gestion de la matière organique dans les exploitations en diversification maraîchères des Hauts de l'Ouest de l'île de la Réunion. Mémoire de fin d'étude, ISAB, Beauvais, 61 p. + annexes.